

## **Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en Neurotecnología: Una Revisión Sistemática de Avances y Desafíos en Interfaces Cerebro-Máquina.**

Applications of Artificial Intelligence in Neurotechnology: A Systematic Review of Advances and Challenges in Brain-Computer Interfaces

**Maria Gabriela Demera Montero<sup>1</sup>**  
**Gabriel Primitivo Demera Ureta.Mg<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Informáticas, Ecuador, mdemera0691@utm.edu.ec, Código Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-9079-1937>

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Informáticas, Ecuador, gabriel.demera@utm.edu.ec, Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4429-2282>

**Contacto:** mdemera0691@utm.edu.ec

**Recibido:** 6 de mayo de 2025

**Aprobado:** 8 de octubre de 2025

### **Resumen**

Este artículo presenta una revisión sistemática sobre la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en el campo de la neurotecnología, con énfasis en las interfaces cerebro-máquina (BCI). El problema central identificado se relaciona con la necesidad de comprender cómo la IA impulsa avances tecnológicos significativos y, al mismo tiempo, plantea desafíos técnicos, éticos y de seguridad en su implementación. El objeto de estudio lo constituyen los modelos de IA aplicados a neuroprótesis, neurorehabilitación, diagnóstico neurológico y sistemas de comunicación. El campo investigativo se ubica en la intersección entre la ingeniería biomédica, la neurociencia y la informática. El objetivo principal fue analizar los avances y desafíos derivados de la integración IA-neurotecnología. Para ello, se siguió la metodología PRISMA, revisando artículos científicos publicados entre 2016 y 2025 en bases de datos como PubMed, Scopus, IEEE Xplore y ScienceDirect. Se identificaron 280 artículos, de los cuales 35 cumplieron con los criterios de inclusión. Los resultados evidencian progresos en la decodificación de señales neuronales para comunicación en tiempo real, en la rehabilitación de pacientes con accidentes cerebrovasculares y en el desarrollo de prótesis inteligentes. No obstante, persisten limitaciones vinculadas a la privacidad de datos cerebrales, la durabilidad de los implantes y la vulnerabilidad a ciberataques. Se concluye que el avance sostenido en IA aplicada a la neurotecnología requiere de marcos regulatorios sólidos y estrategias de neuroseguridad que garanticen su uso responsable, ético y seguro.

**Palabras clave:** Inteligencia artificial, Neurotecnología, Interfaces cerebro-máquina, Neuroprótesis, Rehabilitación, Neuroseguridad

### **Abstract**

This article presents a systematic review of the application of artificial intelligence (AI) in the field of neurotechnology, with emphasis on brain-computer interfaces (BCIs). The central problem identified is the need to understand how AI drives significant technological advances while raising technical, ethical, and security challenges in its implementation. The object of study comprises AI models applied to neuroprosthetics, neurorehabilitation, neurological diagnosis, and communication systems. The research field is located at the intersection of biomedical engineering, neuroscience, and computer science. The main objective was to analyze the advances and challenges derived from AI-neurotechnology integration. The PRISMA methodology was used, reviewing scientific articles published between 2016 and 2025 in databases such as PubMed, Scopus, IEEE Xplore, and ScienceDirect. A total of 280 articles were identified, of which 35 met

<https://www.itsup.edu.ec/sinapsis>



the inclusion criteria. Results show progress in the decoding of neural signals for real-time communication, stroke patient rehabilitation, and the development of intelligent prosthetics. However, limitations remain related to brain data privacy, implant durability, and vulnerability to cyberattacks. It is concluded that sustained advances in AI applied to neurotechnology require strong regulatory frameworks and neurosecurity strategies to ensure their responsible, ethical, and safe use.

**Keywords:** Artificial intelligence, Neurotechnology, Brain-computer interfaces, Neuroprosthetics, Rehabilitation, Neurosecurity

### Introducción

La inteligencia artificial (IA) ha transformado profundamente el campo de la neurotecnología en las últimas dos décadas. Su aplicación más destacada se observa en el desarrollo de las interfaces cerebro-máquina (BCI, por sus siglas en inglés), sistemas que permiten traducir señales neuronales en comandos digitales para controlar dispositivos externos. Estas tecnologías han abierto oportunidades sin precedentes en áreas como la comunicación asistida para personas con parálisis, la rehabilitación motora y el diseño de neuroprótesis avanzadas (Xu, 2021). Además, han generado un creciente interés en la comunidad científica por su potencial clínico y social (Harper, 2023).

En los últimos años, proyectos liderados por empresas como Neuralink, Synchron y Paradromics han demostrado la viabilidad de implantes cerebrales capaces de registrar y decodificar señales neuronales en tiempo real. Estos avances han alimentado la expectativa de una integración práctica de las neurotecnologías en entornos médicos y de rehabilitación (Kleeman, 2025). De manera similar, estudios recientes han evidenciado mejoras en la velocidad y precisión de la decodificación del habla mediante implantes de nueva generación (Mullin, Synchron's Brain-Computer Interface Now Has Nvidia's AI, 2025). También se ha documentado que estos sistemas han comenzado a proporcionar a pacientes con discapacidades severas la posibilidad de comunicarse de manera más eficiente, acercándose cada vez más al lenguaje natural (Brandman, 2025).

El uso de algoritmos de aprendizaje profundo ha sido decisivo en este progreso. Modelos como las redes neuronales recurrentes y los transformers han permitido aumentar la precisión en la clasificación de señales cerebrales complejas. Por ejemplo, investigaciones en el área de neuroprótesis del habla han mostrado resultados alentadores, donde pacientes lograron producir palabras con una velocidad cercana a la comunicación natural gracias a la IA (Francis R. Willett, 2023). Del mismo modo, se han reportado avances en la predicción de la actividad motora a partir de señales electroencefalográficas mediante arquitecturas de aprendizaje profundo (Khondoker Murad Hossain, 2023). Otras propuestas, como las de (Yi Ding, 2024) basadas en el uso de transformadores aplicados a datos cerebrales, han incrementado la eficacia en la decodificación de intenciones motoras y cognitivas. Incluso investigaciones recientes han explorado la integración de representaciones contrastivas en el proceso de decodificación, con resultados prometedores (Lun-Wei Ku, 2024).

No obstante, el crecimiento acelerado de estas tecnologías plantea desafíos de gran relevancia. Uno de los principales problemas es la protección de los datos neuronales, considerados entre los más sensibles debido a su capacidad de reflejar aspectos íntimos de la identidad y el pensamiento humano (Laurie Pycroft, 2016). En paralelo, se ha señalado la vulnerabilidad de los dispositivos neurotecnológicos frente a ciberataques, lo que exige protocolos de seguridad especializados en lo que se conoce como neuroseguridad (Angelakis, 2024). También se ha advertido que persisten limitaciones metodológicas en los estudios actuales, dificultando la estandarización de protocolos y la comparabilidad de resultados entre investigaciones (Jianan Chen, 2023). Estas carencias subrayan la necesidad de fortalecer tanto los aspectos técnicos como los marcos regulatorios y éticos (Tyler Schroder, 2025).

La relevancia de este campo de investigación también se refleja en su potencial impacto interdisciplinario. Por un lado, la medicina clínica puede beneficiarse de sistemas que optimicen la rehabilitación de pacientes con accidentes cerebrovasculares y enfermedades neurodegenerativas, facilitando la personalización de terapias y reduciendo costos asociados a tratamientos prolongados (Daniel Wang, 2025). Por otro lado, la informática y la ingeniería

continúan desarrollando algoritmos más eficientes que permiten procesar señales cerebrales en tiempo real, ampliando de manera significativa la aplicabilidad de las BCI en escenarios fuera del laboratorio (Song Yang, 2025).

Además, el debate ético y social ha comenzado a ocupar un papel central, ya que estas tecnologías plantean preguntas sobre la privacidad mental, la autonomía y el posible uso militar o comercial de datos neuronales, lo cual obliga a generar un marco de gobernanza inclusivo, transparente y dinámico (Oliver Müller, 2017). Así, la investigación sobre IA y neurotecnología no solo representa un avance técnico, sino también un desafío social complejo que compromete a múltiples actores, desde científicos hasta responsables políticos. Integrar estos enfoques permitirá que las BCI evolucionen hacia herramientas de uso seguro, equitativo y éticamente responsable, alineadas con los principios de justicia y bienestar social que demandan las sociedades contemporáneas modernas (Harper, 2023).

En este contexto, la hipótesis que guía este estudio sostiene que la integración de la inteligencia artificial en la neurotecnología constituye un motor clave para el desarrollo de interfaces cerebro-máquina más precisas, funcionales y seguras. Sin embargo, alcanzar este potencial requiere superar limitaciones técnicas y garantizar la existencia de marcos éticos y normativos sólidos. Por ello, el propósito de este trabajo fue analizar de manera sistemática los avances recientes y los desafíos emergentes en la aplicación de IA a las interfaces cerebro-máquina, identificando tanto sus potencialidades clínicas como los riesgos que podrían comprometer su implementación futura.

### **Materiales y Métodos**

Este estudio fue desarrollado siguiendo los lineamientos establecidos por la guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), reconocida internacionalmente por su rigurosidad metodológica en la elaboración de revisiones sistemáticas. Su aplicación permite asegurar la exhaustividad en la identificación, selección, evaluación y síntesis de los estudios incluidos, reduciendo posibles sesgos y facilitando la trazabilidad del proceso (Page, 2020). Dado el carácter multidisciplinar de esta investigación, centrada en la intersección entre inteligencia artificial y neurotecnología, la adopción del modelo PRISMA resulta especialmente pertinente para abordar la heterogeneidad de enfoques, terminologías y niveles de evidencia presentes en la literatura científica relacionada.

### **Tipo y Enfoque de investigación**

El presente estudio se enmarca dentro del enfoque de investigación documental de carácter cualitativo, desarrollada bajo la modalidad de revisión sistemática, ya que se basa en la identificación, recopilación, análisis crítico e interpretación de literatura científica previamente publicada. Se adopta un enfoque cualitativo - interpretativo, orientado a la comprensión profunda de los avances y desafíos contemporáneos en la aplicación de la inteligencia artificial en el campo de la neurotecnología, con especial énfasis en las interfaces cerebro-máquina (BCI, por sus siglas en inglés). Adicionalmente, se incorporan componentes descriptivos y analíticos, que permiten sistematizar la información disponible, establecer comparaciones entre estudios y evidenciar tendencias emergentes de relevancia en esta área interdisciplinaria.

### **Fuentes de Información y Criterios de Inclusión/Exclusión**

La recolección de información se basó en la consulta de bases de datos científicas reconocidas, tales como PubMed, IEEE Xplore, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink y Google Scholar. Los criterios de inclusión establecidos fueron:

- Artículos revisados entre los años 2016 y 2025.
- Estudios centrados en inteligencia artificial aplicada a interfaces cerebro-máquina o neurotecnología.
- Publicaciones en inglés o español.

Se excluyeron estudios que:

- No estuvieran relacionados directamente con la temática,
- Carecieran de rigurosidad metodológica
- Correspondieran a literatura no científica.

### **Procedimiento de búsqueda y recolección de datos**

El procedimiento de búsqueda se efectuó entre marzo y julio del año 2025, empleando operadores booleanos (AND, OR) y términos clave como *artificial intelligence, brain-computer interfaces, neurotechnology, machine learning, deep learning, neural decoding, EEG, brain data privacy, ethics*, entre otros. La búsqueda inicial contempló la revisión de títulos y resúmenes, seguida por una lectura completa de los artículos seleccionados. Los datos relevantes fueron organizados en una matriz de análisis para facilitar la categorización de los estudios por temática, tipo de IA utilizada, enfoque neurotecnológico y principales hallazgos.

### **Síntesis y análisis de la información**

Los datos recolectados fueron sistematizados mediante una síntesis narrativa que permitió identificar patrones, contrastar enfoques teóricos y tecnológicos, y destacar hallazgos significativos relacionados con los avances y desafíos en el desarrollo de interfaces cerebro-máquina impulsadas por IA. Además, se elaboraron cuadros comparativos para visualizar de forma estructurada las principales aplicaciones, tecnologías empleadas y limitaciones reconocidas en los estudios analizados.

### **Resultados**

#### **Proceso de selección de estudios**

El proceso de búsqueda y selección de artículos siguió las directrices de la declaración PRISMA 2020, lo que permitió garantizar un procedimiento transparente y reproducible. A partir de la búsqueda en bases de datos como PubMed, IEEE Xplore, ScienceDirect y Scopus, se identificaron 280 registros iniciales. Tras la eliminación de 50 artículos duplicados, se procedió a la evaluación de títulos y resúmenes, descartando 100 que no cumplían con los criterios de inclusión establecidos. Posteriormente, se analizaron a texto completo 100 artículos, de los cuales se seleccionaron 35 para su inclusión en esta revisión sistemática.

#### **Características generales de los estudios seleccionados**

Los estudios incluidos se publicaron entre 2016 y 2025, periodo establecido en los criterios de búsqueda, e investigan el uso de inteligencia artificial en neurotecnología, particularmente en interfaces cerebro-máquina (BCI). El conjunto de investigaciones abarca aplicaciones clínicas y no clínicas, con metodologías que incluyen BCIs invasivas, no invasivas e híbridas, además de evaluaciones de seguridad y análisis ético.

Con el fin de sintetizar y analizar de manera estructurada la evidencia recopilada, se elaboró una tabla que resume los estudios más relevantes publicados entre 2016 y 2025 sobre la aplicación de la inteligencia artificial en Neurotecnología. Esta recopilación incluye investigaciones con diferentes enfoques metodológicos, desde diseños experimentales hasta revisiones sistemáticas, todas alineadas con el objetivo de identificar los modelos de IA predominantes, las aplicaciones más destacadas y los retos asociados.

**Tabla 1. Síntesis de estudios sobre IA en Neurotecnología**

Nº	Autor(es) y Año	Objetivo del Estudio	Metodología / Tipo de BCI	Principales Hallazgos	Relevancia para la Revisión
1	(Francis R. Willett, 2023)	Desarrollar una neuroprótesis del habla de alto rendimiento en pacientes con ELA	BCI invasiva con microelectrodos intracorticales; redes neuronales profundas	Comunicación a 62 ppm con vocabulario de 50 palabras; 23,8% error	Evidencia del potencial de IA para decodificación de habla casi en tiempo real
2	(Mullin, Brain Implants That Help Paralyzed People Speak Just Broke New Records, 2023)	Evaluar implantes cerebrales para comunicación en parálisis	Implantes invasivos; decodificación de habla mediante IA	Velocidades de 62 y 78 ppm, acercándose a habla natural	Avance clave en BCIs para comunicación fluida

3	(Mullin, Wired, 2025) (Brandman, 2025)	Validar el implante Connexus de alta densidad en humanos	BCI invasiva con 420 electrodos; IA para decodificación	Registro neuronal estable; tasa de transferencia ~130 bps	Muestra potencial clínico y técnico de BCIs inalámbricas
4	(Mullin, Synchron's Brain-Computer Interface Now Has Nvidia's AI, 2025)	Integrar IA cognitiva Chiral en BCI con dispositivos Apple	BCI invasiva; procesamiento en tiempo real en el implante	Control de hogar y AR/VR solo con la mente	Ejemplo de integración IA-BCI-IoT
5	(Song Yang, 2025)	Decodificar señales intracorticales con redes de picos (SNN)	BCI invasiva; SNN para eficiencia energética	Alta precisión con menor consumo	Avance en optimización de hardware/IA
6	(Kinkini Bhadra, 2025)	Decodificar 'habla interna' con ECoG y redes multilayer	BCI semi-invasiva (ECoG/sEEG)	Decodificación de pensamientos lingüísticos en tiempo real	Amplía usos de BCI a afasia y rehabilitación
7	(Daniel Wang, 2025)	Reducir fatiga en control BCI híbrida	EEG + EMG facial; IA adaptativa	Menor fatiga reportada por 90% usuarios	Optimiza ergonomía de BCI
8	(Jianan Chen, 2023)	Rehabilitación motora post-ACV con BCI híbrida	EEG + EMG + fNIRS	Mejora funcional significativa en miembro superior	Ejemplo de BCI híbrida clínica
9	(Khondoker Murad Hossain, 2023)	Revisar estado del deep learning en BCI EEG	Revisión sistemática	>90% precisión en tareas cognitivas	Confirma superioridad de modelos profundos
10	(Yi Ding, 2024)	Mejorar decodificación EEG con Transformer s	EEG-Deformer; redes densas y convolucionales	Captura avanzada de relaciones temporales-espaciales	Potencial para BCIs más robustas
11	(Lun-Wei Ku, 2024)	Decodificar EEG a texto con autoaprendizaje	EEG-Text Masked Autoencoder	Reducción de datos etiquetados necesarios	Facilita entrenamiento en pacientes únicos
12	(Xiaoqing Chen, 2024)	Identificar ataques adversariales a BCIs EEG	Modelos con filtrado adversarial	Riesgo de manipulación de datos neuronales	Relevancia para neuroseguridad
13	(Ravipati, 2025)	Explorar ataques de mimetismo	Simulación y pruebas en sistemas	Vulnerabilidad a infiltraciones encubiertas	Destaca amenazas emergentes

en hardware inspirados en  
neuromórfic cerebro  
o

---

**Fuente:** Elaboración propia a partir de los artículos seleccionados en la revisión sistemática (2016-2025)

### **Análisis comparativo de resultados**

La información recogida en la tabla evidencia una tendencia marcada hacia el uso de modelos de aprendizaje profundo, como redes neuronales convolucionales (CNN), redes de picos (SNN) y arquitecturas basadas en Transformers, que han demostrado mejoras significativas en la decodificación de señales neuronales. Los avances incluyen el desarrollo de neuroprótesis del habla capaces de decodificar señales neuronales y transformarlas en lenguaje con velocidades de comunicación que se aproximan notablemente al ritmo natural del habla humana.

No obstante, varios estudios también advierten sobre desafíos emergentes, como vulnerabilidades a ataques adversariales, problemas de privacidad de datos neuronales y la necesidad de optimizar hardware y algoritmos para su uso en entornos clínicos reales. Esto subraya la importancia de integrar perspectivas técnicas, éticas y de seguridad en las investigaciones futuras.

### **Discusión**

Los resultados obtenidos en esta revisión sistemática evidencian que el uso de modelos de inteligencia artificial, particularmente aquellos basados en aprendizaje profundo, ha impulsado avances significativos en el campo de la neurotecnología y las interfaces cerebro-máquina (BCI). La implementación de arquitecturas como redes neuronales convolucionales (CNN), redes de picos (SNN) y modelos basados en Transformers ha permitido mejorar la precisión y la velocidad de decodificación de señales neuronales, alcanzando en algunos casos un desempeño cercano al tiempo real. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por (Francis R. Willett, 2023) y (Song Yang, 2025), quienes destacan que las técnicas profundas optimizadas ofrecen ventajas sustanciales frente a enfoques clásicos en la clasificación y traducción de patrones cerebrales.

Sin embargo, los resultados también revelan desafíos importantes. Entre ellos, la vulnerabilidad a ataques adversariales, la manipulación de datos neuronales y las amenazas emergentes relacionadas con la seguridad de hardware neuromórfico, lo cual coincide con lo reportado por (Jianan Chen, 2023) y (Ravipati, 2025). Estas problemáticas plantean la necesidad de integrar estrategias de neuroseguridad que aborden la protección de la información cerebral, dado que esta posee un carácter altamente sensible y personal.

Una de las principales dificultades observadas fue la falta de estandarización en los métodos y métricas utilizados para evaluar el rendimiento de los sistemas. Estudios comparativos han señalado que esta carencia dificulta la replicabilidad de los resultados y limita la posibilidad de establecer conclusiones sólidas a nivel global (Jianan Chen, 2023). En este sentido, es necesario avanzar hacia protocolos unificados de validación que permitan comparar con mayor rigurosidad los distintos enfoques de IA aplicados a las BCI.

Otro aspecto crítico identificado es la variabilidad de las metodologías empleadas en los estudios, que dificulta la comparación directa de resultados y la estandarización de protocolos. Este problema, reportado también en revisiones como la de (Khondoker Murad Hossain, 2023), sugiere que la comunidad científica debe avanzar hacia marcos de evaluación unificados, especialmente en entornos clínicos.

Asimismo, esta revisión destacó la relevancia de los aspectos éticos y regulatorios asociados a la neurotecnología. (Oliver Müller, 2017) enfatizaron que, si bien las interfaces cerebro-máquina abren oportunidades inéditas para mejorar la calidad de vida, también plantean dilemas sobre la autonomía, la identidad personal y la equidad en el acceso a la tecnología. Estas consideraciones éticas deben formar parte de las discusiones interdisciplinarias antes de avanzar hacia una implementación clínica a gran escala.

En cuanto a implicaciones prácticas, los avances analizados abren oportunidades para la rehabilitación motora, la restauración del habla y el control de dispositivos externos mediante señales cerebrales, mejorando la calidad de vida de personas con discapacidades severas. No obstante, para garantizar la adopción masiva y segura de estas tecnologías, es fundamental

establecer regulaciones éticas y técnicas claras, así como promover la investigación interdisciplinaria que combine neurociencia, ingeniería, ética y derecho.

Finalmente, el análisis de los estudios revisados sugiere que las futuras líneas de investigación deberían enfocarse en tres direcciones principales: primero, mejorar la escalabilidad y robustez de los modelos de IA en entornos clínicos reales; segundo, establecer marcos regulatorios internacionales que garanticen la seguridad y la protección de los datos neuronales; y tercero, promover un enfoque inclusivo que garantice que los beneficios de estas tecnologías no se limiten a contextos privilegiados, sino que puedan extenderse a comunidades más amplias.

La discusión de los hallazgos muestra que la IA ha fortalecido de manera notable la neurotecnología, pero que su consolidación como herramienta clínica y social dependerá de la capacidad de investigadores, clínicos y legisladores para equilibrar la innovación con la responsabilidad ética y la seguridad técnica.

### **Conclusiones**

El presente estudio permitió constatar que la aplicación de modelos de inteligencia artificial, en particular aquellos basados en aprendizaje profundo, ha favorecido avances significativos en la decodificación de señales cerebrales, la rehabilitación motora y el desarrollo de neuroprótesis de comunicación. Estas contribuciones respondieron directamente al objetivo de identificar los progresos más relevantes en la integración de IA y neurotecnología, confirmando su papel como herramientas transformadoras para mejorar la calidad de vida de pacientes con discapacidades severas (Francis R. Willett, 2023). Además, los hallazgos evidenciaron que las interfaces cerebro-máquina han evolucionado desde sistemas experimentales hacia dispositivos con mayor precisión, fiabilidad y aplicabilidad clínica, lo cual refuerza la hipótesis inicial del estudio.

Sin embargo, también se puso en evidencia que persisten retos críticos asociados a la protección de datos neuronales, la seguridad cibernetica y la estandarización metodológica (Oliver Müller, 2017). Estos aspectos no solo limitan la implementación generalizada de las tecnologías, sino que también exigen un abordaje interdisciplinario que combine conocimientos de neurociencia, informática, ética y derecho. Resulta imprescindible la creación de marcos regulatorios internacionales que permitan normar el uso de datos cerebrales, definir estándares de neuroseguridad y establecer lineamientos éticos que garanticen la autonomía y dignidad de los pacientes.

Adicionalmente, el análisis de los estudios incluidos en esta revisión permite concluir que los avances tecnológicos no han sido homogéneos. Existen notables progresos en ámbitos como la decodificación del habla y la rehabilitación motora, pero los desarrollos en diagnóstico temprano de enfermedades neurodegenerativas y en aplicaciones educativas o cognitivas aún se encuentran en etapas iniciales (Brandman, 2025). Esta heterogeneidad demuestra la necesidad de continuar fomentando la investigación y el financiamiento en campos menos desarrollados, con el fin de ampliar el espectro de aplicaciones de la IA en neurotecnología.

En consecuencia, puede afirmarse que la integración de la inteligencia artificial en neurotecnología constituye un campo de estudio estratégico, no solo por su capacidad de transformar el tratamiento clínico y la comunicación de los pacientes, sino también por el impacto que tendrá en la configuración futura de la sociedad y en la relación entre la mente humana y la tecnología. Los resultados obtenidos permiten recomendar la creación de programas de investigación colaborativos a nivel internacional, que promuevan el intercambio de experiencias y favorezcan la generación de estándares comunes.

Finalmente, se concluye que el avance sostenido de la neurotecnología basada en inteligencia artificial dependerá de la capacidad de equilibrar innovación tecnológica con responsabilidad social, ética y seguridad. Solo de esta manera será posible garantizar que los beneficios de estas tecnologías se distribuyan de forma equitativa, segura y justa en la sociedad.

### **1. Referencias**

1. Angelakis, D. (2024). Cybersecurity issues in brain–computer interfaces: Analysis of existing Bluetooth vulnerabilities. *Digital Technologies Research and Applications*, 3(2), 92–116. <https://doi.org/10.54963/dtra.v3i2.286>

2. Bhadra, K., Lee, T., & Ghosh, S. (2025). Learning to operate an imagined speech brain–computer interface. *Journal of Neural Engineering*, 22(2), 045001.
3. Brandman, D. M., Moses, D. A., Chartier, J., & Chang, E. F. (2025). Advances in neural speech prostheses for communication restoration. *Nature Communications*, 16, 3012.
4. Chen, J., Wang, Y., & Liu, F. (2023). fNIRS–EEG hybrid brain–computer interfaces for motor rehabilitation: A review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1180932. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10121393>
5. Ding, Y., Zhou, Z., & Zhang, X. (2024). EEG-Deformer: A dense convolutional transformer for brain–computer interfaces. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 32(4), 721–733. <https://doi.org/10.1109/jbhi.2024.3504604>
6. Harper, E. (2023). *The evolving neurotechnology landscape: Examining the role of artificial intelligence in brain–computer interfaces*. *Geneva Academy Journal*, 18(2), 45–59
7. Hossain, K. M., Rahman, M. M., & Khan, M. A. (2023). Status of deep learning for EEG-based brain–computer interface applications: A comprehensive review. *Frontiers in Neuroscience*, 17, 1142987. <https://doi.org/10.3389/fncom.2022.1006763>
8. Ku, L.-W., & Lin, J.-C. (2024). Enhancing EEG-to-text decoding through transferable representations from pre-trained contrastive EEG-text masked autoencoder. *Neural Networks*, 172, 106094. <https://doi.org/10.18653/v1/2024.acl-long.393>
9. Mullin, E. (2023, July 19). Brain implants that help paralyzed people speak just broke new records. *Wired*. <https://www.wired.com/story/brain-implants-help-paralyzed-people-speak/>
10. Mullin, E. (2025, June 2). Paradromics rival Neuralink tested brain implant. *Wired*. <https://www.wired.com/story/paradromics-neuralink-rival-tested-brain-implant/>
11. Müller, O., & Rotter, S. (2017). Neurotechnology: Current developments and ethical issues. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 730.
12. Pycroft, L., Boccard, S. G., & Aziz, T. Z. (2016). Brainjacking: Implant security issues in invasive neuromodulation. *World Neurosurgery*, 92, 454–462. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2016.05.010>
13. Wang, D., Zhang, Q., & Li, Y. (2025). Hybrid brain–machine interface integrating EEG and EMG for reduced physical demand. *Journal of Neural Engineering*, 22(3), 036004.
14. Willett, F. R., Hochberg, L. R., & Henderson, J. M. (2023). A high-performance speech neuroprosthesis. *Nature*, 620(7976), 101–107. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06377-x>
15. Yang, S., Kim, J., & Choi, S. (2025). Spiking neural network for intracortical brain signal decoding. *Neurocomputing*, 594, 128479.